

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-191061

(P2002-191061A)

(43)公開日 平成14年7月5日(2002.7.5)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
H 0 4 Q	3/52	H 0 4 Q 3/52	B 5 K 0 0 2
H 0 4 B	10/02	H 0 4 L 12/56	F 5 K 0 3 0
H 0 4 L	12/56	H 0 4 B 9/00	T 5 K 0 6 9

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 21 頁)

(21)出願番号 特願2001-288529(P2001-288529)  
(22)出願日 平成13年9月21日(2001.9.21)  
(31)優先権主張番号 09/687346  
(32)優先日 平成12年10月13日(2000.10.13)  
(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 596077259  
ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レイテッド  
Lucent Technologies  
Inc.  
アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ  
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー  
600-700  
(74)代理人 100081053  
弁理士 三俣 弘文

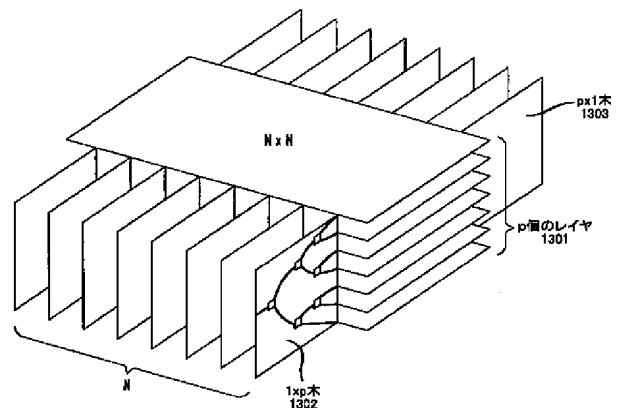
最終頁に続く

(54)【発明の名称】  $N \times N$  ノンブロッキング光スイッチ

(57)【要約】

【課題】 損失およびクロストークの実質的増大なしに、素子数を最小化した大規模な  $N \times N$  クロスコネクトスイッチを実現する。

【解決手段】  $N$  個の入口と  $N$  個の出口の間にコネクションを提供する  $N \times N$  ノンブロッキング光スイッチは、(1)それぞれ  $N \times N$  構成によって形成される  $p$  個のレイヤ1301と、(2)各入力空間スイッチの各入力相異なる入口に接続され、各入力空間スイッチがすべてのレイヤに接続されるような、 $N$  個の  $1 \times p$  入力空間スイッチ1302と、(3)各出力空間スイッチの各出力相異なる出口に接続され、各出力空間スイッチがすべてのレイヤに接続されるような、 $N$  個の  $p \times 1$  出力空間スイッチ1303とを有する。ただし、(4)各レイヤは3個の段からなり、その第1段および第3段は  $m \times m$  スイッチからなり、第2段は  $(N/m^2) \times (N/m^2)$  ノンブロッキングスイッチからなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】  $N$ を整数として、 $N$ 個の入口のうちの任意の入口と $N$ 個の出口のうちの任意の出口との間にコネクションを提供する $N \times N$ ノンブロッキング光スイッチにおいて、それぞれ $N \times N$ 構成によって形成される整数 $p$ 個のレイヤと、各入力空間スイッチの各入力が入力側の $N$ 個の入口のうちの相異なる入口に接続され、各入力空間スイッチがすべてのレイヤに接続されるような、整数 $N$ 個の $1 \times p$ 入力空間スイッチと、各出力空間スイッチの各出力が $N$ 個の出口のうちの相異なる出口に接続され、各出力空間スイッチがすべてのレイヤに接続されるような、整数 $N$ 個の $p \times 1$ 出力空間スイッチとを有し、各レイヤは3個の段からなり、その第1段および第3段は $m \times m$ スイッチからなり、第2段は $(N/m^2) \times (N/m^2)$ ノンブロッキングスイッチからなり、それぞれの $m \times m$ スイッチは、その $m$ 個の入力ポートのうちの任意の入力ポートからその $m$ 個の出力ポートのうちの任意の出力ポートまで少なくとも1つのパスを形成することが可能であり、第1段のそれぞれの $m \times m$ スイッチと、第3段のそれぞれの $m \times m$ スイッチとは、第2段の1個の特定のスイッチを介して接続され、レイヤの数 $p$ は $p \geq 2m-1$ を満たすことを特徴とする $N \times N$ 光スイッチ。

【請求項2】 それぞれの $m \times m$ スイッチは、各列に $m/2$ 個の素子を有する $1 \log(m)$ 個の列に配列された、 $(m/2) 1 \log(m)$ 個の $2 \times 2$ 素子を有することを特徴とする請求項1記載の $N \times N$ 光スイッチ。

【請求項3】 それぞれの $(N/m^2) \times (N/m^2)$ スイッチは、 $1 \times 2$ 、 $2 \times 1$ 素子の二分木のクロスバ構成であることを特徴とする請求項1記載の $N \times N$ 光スイッチ。

【請求項4】 それぞれの $m \times m$ スイッチは、 $1 \times 2$ 素子の $1 \times m$ 二分木に接続された $2 \times 1$ 素子の $m \times 1$ 二分木からなり、それぞれの $(N/m^2) \times (N/m^2)$ スイッチは、 $1 \times 2$ 、 $2 \times 1$ 素子の二分木のクロスバ構成であることを特徴とする請求項1記載の $N \times N$ 光スイッチ。

【請求項5】 それぞれの $m \times m$ スイッチおよびそれぞれの $(N/m^2) \times (N/m^2)$ スイッチは、 $2 \times 1$ および $1 \times 2$ 素子の2レベルの二分木のクロスバ構成であり、全体構成は全部で6レベルの二分木を有し、第1および第2レベルは、第1段の $m \times p$ スイッチを形成し、第3および第4レベルは、第2段の $(N/m) \times (M/m)$ スイッチを形成し、第5および第6レベルは、第3段の $p \times m$ スイッチを形成することを特徴とする請求項1記載の $N \times N$ 光スイッチ。

チ。

【請求項6】  $N$ を整数として、 $N$ 個の入口のうちの任意の入口と $N$ 個の出口のうちの任意の出口との間にコネクションを提供する $N \times N$ ノンブロッキング光スイッチにおいて、

それぞれ $m \times p$ スイッチ、 $(N/m) \times (M \times m)$ スイッチ、および、 $p \times m$ スイッチを含む3個の段を有し、 $m$ は $N$ の約数であり、 $p$ は $p \geq 2m-1$ を満たす整数であり、

各段は、 $1 \times 2$ または $2 \times 1$ 素子によって形成される2レベルの木を有し、

前記 $N \times N$ スイッチは、全部で6レベルの木を有し、それぞれの偶数レベルの木は、それぞれの木がその木の根にある $1 \times 2$ 素子によって形成される1個の入力ポートを有するとともにその木の葉に対応する $1 \times 2$ 素子によって形成される複数の出力ポートを有するように、 $1 \times 2$ 素子によって形成され、

それぞれの奇数レベルの木は、その木の根に対応する1個の出力ポートとその木の葉に対応する複数の入力ポートとを有し、

入力段は、第1レベルおよび第2レベルの二分木を有する $m \times p$ スイッチを有し、第1レベルのそれぞれの木は、その入力ポートが $N$ 個の入口のうちの相異なる入口に接続され、それぞれの出力ポートが第2レベルの木の相異なる木に接続され、第2レベルの木の各出力ポートは、中央段の相異なる木に接続され、

中央段は、第3レベルおよび第4レベルの二分木を有する $(N/m) \times (M \times m)$ スイッチを有し、第3レベルのそれぞれの木は、それぞれの出力ポートが第4レベルの木の相異なる木に接続され、第4レベルの木の各出力ポートは、出力段の相異なる木に接続され、

出力段は、第5レベルおよび第6レベルの二分木を有する $p \times m$ スイッチを有し、第5レベルのそれぞれの木は、それぞれの出力ポートが第6レベルの木の相異なる木に接続され、第6レベルの木の各出力ポートは、 $N$ 個の出口のうちの相異なる出口に接続されることを特徴とする $N \times N$ スイッチ。

【請求項7】 入力段は、それぞれ1個の導波路交差によって特徴づけられる複数の $2 \times 3$ スイッチングブロックを有し、

出力段は、それぞれ1個の導波路交差によって特徴づけられる複数の $3 \times 2$ スイッチングブロックを有することを特徴とする請求項6記載の $N \times N$ スイッチ。

【請求項8】 入力段と中央段の間および中央段と出力段の間の両方のコネクション結合部において、1個の $2 \times 1$ スイッチと、これに該コネクション結合部で直接接続された1個の $1 \times 2$ スイッチとの組合せのそれぞれが、1個の $2 \times 2$ スイッチで置き換えられることを特徴とする請求項6記載の $N \times N$ スイッチ。

【請求項9】  $m \geq 3$ であり、

入力段と中央段の間および中央段と出力段の間の両方のコネクション結合部において、1個の $3 \times 1$ スイッチと、これに該コネクション結合部で直接接続された1個の $1 \times 3$ スイッチとの組合せのそれぞれが、2列のスイッチング素子からなる1個の $3 \times 3$ スイッチで置き換えられることを特徴とする請求項6記載の $N \times N$ スイッチ。

【請求項10】 入力段は、複数次 $N/m$ 個の $m \times p$ 入力スイッチを有し、それぞれの $m \times p$ 入力スイッチの各入力は、 $N$ 個の入口のうちの相異なる入口に接続され、 $m$ は $N$ の約数であり、 $p$ は $p \geq 2m-1$ を満たす整数であり、

出力段は、複数次 $N/m$ 個の $p \times m$ 出力スイッチを有し、それぞれの $p \times m$ 出力スイッチの各出力は、 $N$ 個の出口のうちの相異なる出口に接続され、

中央段は、複数次 $p$ 個の $(N/m) \times (N/m)$ 中央スイッチを有し、それぞれの $(N/m) \times (N/m)$ 中央スイッチの $N/m$ 個の入力は、相異なる $m \times p$ 入力スイッチに接続され、それぞれの $(N/m) \times (N/m)$ 中央スイッチの $N/m$ 個の出力は、相異なる $p \times m$ 出力スイッチに接続されることを特徴とする請求項6記載の $N \times N$ スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光クロスコネクトスイッチに関し、特に、光クロスコネクトスイッチに適した大規模な $N \times N$ 構成の二分木に関する。

【0002】

【従来の技術】大容量光ネットワークにおいて、本質的なデバイスは $N \times N$ クロスコネクトスイッチである。このデバイスの機能は、それぞれが複数の波長チャネルを伝送する複数の入力ファイバの間に、各ノードで完全な接続性を提供することである。このスイッチはノンブロッキングでなければならず[1-11]、また、高速かつ効率的でなければならない。(なお、本明細書では、他の文献への参照は、「付録」の文献リスト中の項目を識別する番号を角括弧に入れて表す。)これらの性質は、 $1 \times 2$ および $2 \times 1$ 素子の二分木からなる古典的クロスバ構成を使用することによって、最小の損失およびクロストークで実現することができる[2]。しかし、この構成は、 $N$ が大きい場合には実際的でなくなる。素子数が $2N(N-1)$ という大きい数で与えられるからである。素子数が $N$ に関して2次で増大するため、 $N \times N$ クロスコネクトスイッチは、 $N$ が大きい場合に急激に大きくなってしまふ。例えば、 $N=64$ および $128$ の場合の素子数はそれぞれ $8064$ および $32512$ である。光ネットワークの容量は増大し続けているため、ますます大規模な $N \times N$ クロスコネクトスイッチが引き続き必要とされている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】必要とされているのは、損失およびクロストークの実質的増大なしに、素子数を最小化した大規模な $N \times N$ クロスコネクトスイッチである。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明の装置によれば、大きい $N$ に適した、拡張 $N \times N$ 光クロスコネクトスイッチは、良好な効率(小さい素子数)を示し、小さい値の深さ(低損失)およびクロストークで実現される。古典的クロスバスイッチ構成と比べて、深さおよびクロストークを実質的に増大させることなく、幅および素子数はいずれも実質的に低減される。本発明の構成は、その最も簡単な形式では、 $1 \times 2$ および $2 \times 1$ スイッチング素子の6レベルの二分木を使用することによって実現することができる。最初の2レベルは入力段を形成し、第3および第4レベルは中央段を形成し、第5および第6レベルは出力段を形成する。入力段、中央段、出力段のそれぞれにおいて、奇数番目のレベルは $1 \times 2$ 素子の二分木として形成され、偶数番目のレベルは $2 \times 1$ 素子の二分木として形成される。各段は、 $1 \times 2$ 素子二分木を $2 \times 1$ 素子二分木と互いに直接結合することによって形成される。同様に、隣り合う段は、木の対どうしを直接接続することによって互いに結合される。一実施例では、隣り合う段どうしの各結合部の付近に位置する1個以上の $2 \times 2$ 素子の対称的配置を使用することによって、深さが実質的に低減される。 $N=64$ および $128$ の場合に、古典的クロスバ構成における2段の二分木を用いると、 $N \times N$ クロスコネクトに必要な素子数はそれぞれおよそ $8000$ 、 $33000$ であるのに対して、本発明の構成を用いると、 $N \times N$ クロスコネクトに必要な素子数はそれぞれおよそ $4500$ および $13500$ である。本発明の構成はまた、Clos型構成によって得られる深さを小さくするという特徴を有する。クロストークは2次であり、各出力ポートに送信されるのは最大で3成分である。

【0005】具体的には、本発明は、 $N$ 個の入口のうちの任意の入口と $N$ 個の出口のうちの任意の出口との間にコネクションを提供する $N \times N$ ノンブロッキング光スイッチに関する。ただし、 $N$ は整数である。この $N \times N$ スイッチは、(1)それぞれ $N \times N$ 構成によって形成される整数 $p$ 個のレイヤと、(2)各入力空間スイッチの各入力 $N$ 個の入口のうちの相異なる入口に接続され、各入力空間スイッチがすべてのレイヤに接続されるような、整数 $N$ 個の $1 \times p$ 入力空間スイッチと、(3)各出力空間スイッチの各出力 $N$ 個の出口のうちの相異なる出口に接続され、各出力空間スイッチがすべてのレイヤに接続されるような、整数 $N$ 個の $p \times 1$ 出力空間スイッチとを有する。ただし、(4)各レイヤは3個の段からなり、その第1段および第3段は $m \times m$ スイッチからなり、第2段は $(N/m^2) \times (N/m^2)$ ノンブロッキ

ングスイッチからなり、(5)それぞれの $m \times m$ スイッチは、その $m$ 個の入力ポートのうちのいずれかからその $m$ 個の出力ポートのうちのいずれかまで少なくとも1つのパスを形成することが可能であり、第1段のそれぞれの $m \times m$ スイッチと、第3段のそれぞれの $m \times m$ スイッチとは、第2段の1個の特定のスイッチを介して接続され、(6)レイヤの数 $p$ は $p \geq 2m - 1$ を満たす。

【0006】本発明のもう1つの特徴によれば、 $N \times N$ ノンブロッキング光スイッチは、 $N$ 個の入口のうちの任意の入口と $N$ 個の出口のうちの任意の出口との間にコネクションを提供する。ただし、 $N$ は整数である。この $N \times N$ スイッチは、その最も簡単な形式では、それぞれ $m \times p$ スイッチ、 $(N/m) \times (M \times m)$ スイッチ、および $p \times m$ スイッチからなる3個の段を有する。ただし、 $m$ は $N$ の約数であり、 $p$ は $p \geq 2m - 1$ を満たす整数である。各段は2レベルの木からなり、全体構成は、

(1) 入力段、中央段および出力段として構成される $1 \times 2$ または $2 \times 1$ スイッチング素子によって形成される6レベルの木を有する。ただし、(2)それぞれの偶数レベルの木は、それぞれの木がその木の根にある $1 \times 2$ 素子によって形成される1個の入力ポートを有するとともに木の葉に対応する出力 $1 \times 2$ 素子によって形成される複数の出力ポートを有するように、 $1 \times 2$ 素子によって形成され、(3)それぞれの奇数レベルの木は、それぞれの木が反転され、根に対応する1個の出力ポートと葉に対応する複数の入力ポートとを有する。入力段は、第1レベルおよび第2レベルの二分木を有する $m \times p$ スイッチからなり、第1レベルのそれぞれの木は、その入力ポートが $N$ 個の入口のうちの相異なる入口に接続され、それぞれの出力ポートが第2レベルの木の相異なる木に接続され、第2レベルの木の各出力ポートは、中央段の相異なる木に接続される。中央段は、第3レベルおよび第4レベルの二分木を有する $(N/m) \times (M \times m)$ スイッチからなり、第3レベルのそれぞれの木は、それぞれの出力ポートが第4レベルの木の相異なる木に接続され、第4レベルの木の各出力ポートは、出力段の相異なる木に接続される。出力段は、第5レベルおよび第6レベルの二分木を有する $p \times m$ スイッチからなり、第5レベルのそれぞれの木は、それぞれの出力ポートが第6レベルの木の相異なる木に接続され、第6レベルの木の各出力ポートは、 $N$ 個の出口の相異なる出口に接続される。

【0007】上記の構成の重要な特徴は、引き続き段どうしが、結合部の両側の木の根どうしを直接接続することによって、互いに結合されることである。その結果、結合部付近の $1 \times 2$ および $2 \times 1$ 素子を少数の $2 \times 2$ 素子で置き換えることによって、深さおよび素子数を低減することができる。

【0008】

【発明の実施の形態】本発明の装置によれば、大きい $N$

に適した、拡張 $N \times N$ 光クロスコネクタは、良好な効率（小さい素子数）を示し、小さい値の深さ（低損失）およびクロストークで実現される。古典的クロスバスイッチ構成と比べて、深さおよびクロストークを実質的に増大させることなく、幅および素子数はいずれも実質的に低減される。最も簡単な場合、本発明の構成は、各段が2レベルの $1 \times 2$ および $2 \times 1$ スイッチング素子の二分木からなる3個の段を使用することによって実現される。この構成の重要な特徴は、引き続き段どうしが、結合部の両側の木の根どうしを直接接続することによって、互いに結合されることである。その結果、結合部付近の $1 \times 2$ および $2 \times 1$ 素子を少数の $2 \times 2$ 素子で置き換えることによって、全深さを実質的に低減することができる。他方、この技術は、段間のリンク数を増大させるため、主として、深さ（損失）に対して厳しい要件が課されるときに有用である。すべての場合において、この新規な構成は、古典的クロスバ構成の場合と同様にクロストークおよび深さの値が小さいことによって特徴づけられる。具体的には、クロストークは2次であり、各出力ポートに送信されるのは実質的に高々3成分である。

【0009】図1は、Clos構成を用いて実現される $N \times N$ クロスコネクタスイッチのブロック図である。中央（すなわち第2）段102の構成ブロックは、 $n = N/m$ とした $n \times n$ スイッチであり、入力（すなわち第1）段101および出力（すなわち第3）段103ではそれぞれ、 $m \times (2m - 1)$ スイッチおよび $(2m - 1) \times m$ スイッチが用いられる。 $m = 2$ の場合に図2に示すように、各段101～103の構成ブロックは、二分木のクロスバ構成を使用することによって構成される。例えば、第1段のブロック201は、入力I1およびI2のそれぞれについて個別の入力二分木を有する第1レベル202と、出力O1、O2、およびO3のそれぞれについて個別の出力二分木を有する第2レベル203とを有する。入力I1二分木は、 $1 \times 2$ 素子1および2を有し、入力I2二分木は、 $1 \times 2$ 素子3および4を有する。出力O1木は $2 \times 1$ 素子5を有し、出力O2木は $2 \times 1$ 素子6を有し、出力O3木は $2 \times 1$ 素子7を有する。第2段102は、第1レベル204および第2レベル205を有する。第3段（図示せず）も同様である。このように、図1の $N \times N$ クロスコネクタスイッチは、全部で6レベルの二分木を用いて実現され、第1、第2および第3の各段が、2レベルの二分木を有する。これらの2個のレベルのうち第1レベルは $1 \times 2$ 素子（例えば、図2の202、204）から形成され、第2レベルは $2 \times 1$ 素子（例えば、図2の203および205）から形成される。次に、2個の段の結合部206において、対応する素子どうしを接続して、引き続き段を結合する。これは図2に示されており、結合部206において、第1段101の $2 \times 1$ 素子の列が、第2段102の

対応する $1 \times 2$ 素子と対にされている。結合部206に沿って、 $2 \times 1$ 素子と $1 \times 2$ 素子の対のそれぞれは、図3に示すような $2 \times 2$ 素子の単一の列を得るように、単一の $2 \times 2$ 素子（例えば207）で置き換えられている。図3には示していないが、同じ手続きが、図1の $N \times N$ スイッチの第2（中央）段102と第3（出力）段103の間の結合部でも繰り返される。結合部がこのようにして接続されると、結果として得られる $N \times N$ スイッチは、実質的にクロストークに影響を及ぼすことなく、全深さ（損失）が2だけ減少する。しばしば、最小の導波路交差数でプレーナウェハ上に集積形態で各構成ブロックを実現したい場合がある。その場合、入力段101および出力段103の最適な構成は、後述のようなさまざまな木を適当に配置することによって得られる。最後に、全素子数を最小にする入力および出力スイッチ（図1の104および105）の最適サイズも決定する。最終結果は、次の性質を有する $N \times N$ スイッチ構成である。第1に、素子数および幅は、古典的クロスバ構成のものよりも実質的に小さい。実際、これらの値は、完全拡張ノンブロッキングスイッチの場合でも、最小値より実質的に大きくはない。第2に、クロストークおよび深さは、クロスバ構成のものにかなり近い。第3に、幅および素子数を実質的に増大させることなくクロストークおよび深さをさらに低減することができないという意味で、この結果は最適である。

【0010】上記の例では最も簡単な場合 $m=2$ を考察したが、より大きい $m$ の場合も同じ結果が得られる。クロスバ構成を使用することによってそれぞれの構成ブロックを実現し、6レベルの二分木を得る。図4に、 $N=32$ 、 $m=4$ の場合について、スイッチ構成の第1段の構成ブロック301および第2段の構成ブロック302を示す。第1および第2レベルは第1段を形成し、これらはそれぞれ $1 \times (2m-1)$ 木および $m \times 1$ 木からなる。第3および第4レベルは第2段を形成し、これらは $1 \times n$ 木および $n \times 1$ 木からなる。同様に、最終段は、単に第1段の鏡像である。注意すべき点であるが、第1段と第2段の間の各コネクションは、結合部305の両側に位置する2個の木の根どうしを直接接続するリンク304によって実現されている。こうして、図4に示されるように、それぞれの $m \times 1$ 木は、1つの $1 \times n$ 木と、相異なるリンク304を通じて接続される。なお、第1段のブロック301の第7（最後）の $m \times 1$ 木は、リンク306を通じて、第2段の第7ブロック（図示せず）の第1の $1 \times n$ 木に接続される。また、中央段の第1ブロック302の第8の $1 \times n$ 木は、リンク307を通じて、第1段の第8ブロック（図示せず）の第1の $m \times 1$ 木に接続されることになる。この理由は、この例示的なスイッチ構成では $N=32$ および $m=4$ であるため、第1段は $N/m$ （すなわち8）個のブロックを有し、各ブロックが $2m-1$ （すなわち7）個の出力を有し、

一方、第2段は $2m-1$ （すなわち7）個のブロックを有し、各ブロックが $N/m$ すなわち8個の入力を有するためである。

【0011】なお、図4において、 $m \times 1$ 木は、 $1 \times n$ 木の対応する対になる部分とともに、対称 $m \times m$ 構成を形成する。この構成は、1つの信号しか通らないため、 $m=2, 3, 4, 8$ および $n=N/m=4, 6, 8, 16$ の場合について図5および図6に示すように、等価な $2 \times 2$ 素子の $m \times m$ 構成でそれを置き換えることによって、その深さを実質的に低減することができる。図6を参照すると、この新規な構成はベースライン構成といい、それぞれ $m/2$ 個の素子の $\log(m)$ 個の列からなる。したがって、深さは、この新規な構成によって、 $2 \log(m)$ から $\log(m)$ に低減され、素子数は $2(m-1)$ から $(m/2) \log(m)$ へと変わる。ただし、深さは、信号がスイッチ構成の入力から出力までに通らなければならないスイッチ素子の数として定義される。損失（深さ）に対して厳しい要件が課される場合には、この新規な構成は明らかに有利である。他方、この構成では2つの段の間の相互接続数を $m$ 倍に増大させているため、この技術は、全損失が重要でない場合には有利とはならない可能性がある。なお、上記では、 $m > 2$ の場合について、上記の技術によって、 $m \times m$ 構成全体を同じサイズのベースライン構成で置き換えている。明らかに、より小さいベースライン構成を使用することによって、 $m \times m$ 構成の中央部分のみを変更するようにすれば、深さの低減幅は小さくなり、必要な相互接続数の増大も少なくなる。例えば、 $m=4$ の場合に、構成313の変わりに単に $2 \times 2$ 構成311を使用することが可能であり、その場合、相互接続数の増大をあまり大きくしすぎずに、深さすなわち損失の少量の低減が得られる。こうして、スイッチのサイズと、深さおよび相互接続数の相対的重要性とに依存して、ベースライン構成として、さまざまなサイズを使用可能である。上記と同じ考察は、最後の2段の結合部、すなわち、スイッチ構成の第2段と第3段の間にも当てはまる。

【0012】なお、ここで考察している構成は完全拡張（fully dilated）型である。すなわち、どの $1 \times 2$ 、 $2 \times 1$ 、 $2 \times 2$ スイッチング素子にも複数の信号は存在しない。この条件がない場合、2個の信号が通る $2 \times 2$ 素子は、それぞれの信号に、素子消光比によって決まる大きさ $X$ の、少量のクロストーク成分を加えることになる。他方、本実施例の場合、各素子は、高々1つの意図した信号しか通らない結果、それぞれのクロストーク成分は、 $X$ に関して2次以上となる。

【0013】[1. クロスバ構成] 最も簡単な場合、 $N=2$ の従来技術の対称クロスバ構成は、図7に示すように4個の素子を有する。図7（あるいは本願のその他の図面）の各スイッチ素子は、その主要な状態のうちの1つ、すなわち、バー321またはクロス322に設定さ

ることが可能である。なお、図7（あるいは本願のその他の図面）に示した $1 \times 2$ および $2 \times 1$ 素子のそれぞれの状態は、それに入力される制御信号Cによって個別に制御される。図8に、 $M > N$ として、より大きい非対称 $N \times M$ クロスバ構成を構築するための一般化構成を示す。図8の構成は、 $N = M$ と選ぶことによって、より大きい対称 $N \times N$ クロスバ構成のためにも使用可能である。具体的には、 $N = 4$ の場合に図9の構成が得られる。この構成は、単に、図10の3次元表示によって示されるような2セットの二分木からなる。同様の構成が、非対称の場合 $N \times M$ に得られる。その場合、全素子数は $2NM - N - M$ であり、全深さは $1 \circ \log(N) + 1 \circ \log(M)$ である（各項は整数に切り上げる）。上記の構成は、以下で説明するように、それらの深さが最小であり、それらのクロストークが低い、魅力的である。他方、大きい $N = M$ の場合に、素子数が大きくなるという好ましくない点がある。その場合、図1に示したようなClos構成を使用することによって、大きい $N$ の場合に素子数を低減しなければならない。

【0014】この構成の各構成ブロックは、図10に例示するような二分木のクロスバ構成を使用することによ

$$P_N = (2m-1)P_{N/m} + 2(N/m)Q \quad (1)$$

【0016】この構成は対称であるため、出力段は入力段の鏡像であり、入力段についてのみ考えればよい。各構成ブロックとして二分木のクロスバ構成を使用することによって、 $P_N = 2(N/m)((N/m) - 1)$ 、

$$P_N = (2m-1)N(2\frac{N}{m^2} + 4\frac{m-1}{m}) - 2N, \quad D_N = 2(\log N + \log m + 1)$$

これらはそれぞれ、全体構成に対する素子数および深さを与える。

【0017】次に、3つの段を互いに結合して、 $1 \times 2$ または $2 \times 1$ スイッチング素子によって形成される6レベルの木を得る。図4を参照すると、第1および第2レベルは第1段301を形成し、これらはそれぞれ $1 \times (2m-1)$ 木および $m \times 1$ 木からなる。第3および第4レベルは第2段302を形成し、これらは、 $n = N/m$ として、 $1 \times n$ 木および $n \times 1$ 木からなる。同様に、最終段は、単に第1段の鏡像である。すでに指摘したように、この構成の重要な性質は、第1段と第2段が、結合部305の両側の木の根どうしを直接接続することによって互いに結合されることである。こうして、結合部305で互いに接続される木の対のそれぞれは、レベル2の $m \times 1$ 出力木308をレベル3の $1 \times n$ 入力木309の最初の $1 \times m$ 部分と組み合わせたものからなる対称 $m \times m$ 構成を形成する。この構成は、1つの信号しか通らないため、図6に示したように、等価な $2 \times 2$ 素子の $m \times m$ 構成を使用することによって、その深さを低減することができる。この新規な構成はベースライン構成と

って実現することができる。具体的には、入力段にこの構成を使用することによって、それぞれの $m \times (2m-1)$ 入力スイッチは、全部で $Q = 2m(2m-1) - 3m + 1$ 個の素子と、全深さ $21 \circ \log(m) + 1$ とを必要とすることがわかる。同じ結果は、出力段のそれぞれの $(2m-1) \times m$ スイッチにも成り立つ。しばしば、ウェハ上に集積形態で各スイッチを実現したい場合がある。その場合、最小の導波路交差数で $m \times (2m-1)$ および $(2m-1) \times m$ スイッチを実現して、集積形態でのそれらの製造を簡単化することが重要である。本発明の発明者は、この条件は、 $m = 2$ の場合、図11の $2 \times 3$ 構成によって実現されることを発見した。この構成は、7個の素子を有するが、1個の導波路交差611しか有しない。さらに、非対称スイッチ（図11）および対称スイッチ（図9）の組合せを使用することによって、より大きい $m$ のスイッチを実現することができる。

【0015】[2. 一般化Clos構成] 図1のClos構成は、中央段に $(N/m) \times (N/m)$ ブロックを必要とし、他の2つの段に $(2m-1) \times m$ ブロックを必要とする。したがって、それぞれの $(2m-1) \times m$ ブロックの素子数を $Q$ とすると、次の漸化式が得られる。

$Q = 2m(2m-1) - 3m + 1$  がわかり、次式が得られる。

【数1】

いう。これがもとの構成と等価であるのは、 $2 \times 2$ 素子の設定を適当に選択することによって、入力信号を任意の出力ポートに転送することができるからである。その主要な利点は、その深さが最小であることである。実際、もとの構成と比較して、深さは $21 \circ \log(m)$ から $1 \circ \log(m)$ に低減され、素子数は $2(m-1)$ から $(m/2)1 \circ \log(m)$ へと変わる。損失（深さ）に対して厳しい要件が課される場合には、この新規な構成は明らかに有利である。他方、この構成では2つの段の間の相互接続数を $m$ 倍に増大させている。例えば、 $m = 2$ の場合、図2の段101の1つの構成ブロックからのそれぞれのコネクション210は、図3に示したように、2個のコネクション211によって置き換えられる。したがって、この技術は、全損失が重要でない場合には有利とはならない可能性がある。同じ考察は、最後の2段の結合部にも当てはまる。上記の技術を使用することによる最終結果として、構成全体に対する素子数および深さは次の値まで低減される。

【数2】

$$P_N = (2m-1)N(2\frac{N}{m^2} + \log m) - 2N, \quad D_N = 2(\log N + 1)$$

また、深さ $D_N$ は、拡大構成に対する最小値 $2 \log(N)$ に近い。次に、適当に $m$ を選択することによって素子数を最小にすると、 $N=64$ 、 $128$ に対して次の値を得る。 $m=4$ 、 $8$ に対して、 $P_N=4352$ 、 $13184$ 、 $D_N=14$ 、 $16$ こうして、素子数は、図9、図10のように $2(N^2-N)$ 個の素子の単一のクロスバ構成を使用することによって要求される値 $8064$ 、 $32512$ と比較して、実質的に低減される。これらの新しい値は、最小値にかなり近く、これらは、完全拡大構成の場合の $3600$ 、 $11000$ に近いことを示すことができる。深さおよびクロストークもまた最小値に近い。制御アルゴリズムを最適化することによって、各ブロックが、実質的に、(各信号に対して)2次の1つのクロストーク成分の寄与をすることを示すことができる。

【0018】次に、本発明の構成を以下のように一般化することができる。 $N \times N$ クロスバ構成は、 $N=M$ の場合の図8に従って、4個の $(N/2) \times (N/2)$ 中央ブロックを有する中央ユニット601と、入力二分木602および出力二分木603とを組み合わせたものからなる構成に分解することができる。明らかに、同様の分解は、中央ユニット601の各ブロックについても実行することが可能であり、この分解を $N \times N$ 構成に反復適用すると、 $s$ 回の適用後、 $r=2^s$ として、 $(N/r) \times (N/r)$ ブロックに接続された入力および出力二分木からなる中央段構成が得られることを確かめることができる。図13に示すように、この手続きは、 $(N/m) \times (N/m)$ 構成に適用することも可能であり、その場合、 $r=m$ に対して、 $(N/m^2) \times (N/m^2)$ ブロックの構成が得られる。この手続きは明らかに、図1のそれぞれの中央ブロック106にも適用される。なお、中央ブロック106は、それぞれ $1 \times m$ 木および $m \times 1$ 木からなる入力段1101および出力段1102と、全部で $m^2$ 個の中央ブロックを含む中央段1103とに分解される。次に、中央ブロック106のそれぞれの $1 \times m$ 木1101を、入力段101の第2木レベルの対応する $m \times 1$ 木1104と組み合わせて、対称 $m \times m$ 構成を形成するようにする。同様に、同じ手続きを、中央ブロック出力のそれぞれの $m \times 1$ 木1102と、出力段103の第2木レベルの対応する $1 \times m$ 木1105とに適用して、対称 $m \times m$ 構成を形成するようにする。例えば $m=4$ の場合、 $1 \times m$ 木は $1 \times 4$ 木であり、 $m \times 1$ 木は $4 \times 1$ 木であり、図5の313によって示されるように、 $1 \times 4$ 木と $4 \times 1$ 木を組み合わせると $4 \times 4$ 素子が得られる。最終結果は、図14の $N \times N$ 構成である。なお、入力1201、第1段1202と第2段1203の間、第2段1203と第3段1204の間、および、出力1205に対して、すべてのコネクションが図示されているわけではない。一般化した場合、第1段は $m \times m$ スイッチを用いて構成され、第2段は $(N/m^2) \times$

$(N/m^2)$ ブロックを用いて構成され、出力段は $m \times m$ スイッチを用いて構成される。図14の構成は明らかにブロッキング型である。それぞれの $m \times m$ スイッチは1つのパスしかサポートすることができないからである。他方、この構成の1つの性質として、入力段のそれぞれの $m \times m$ スイッチは、出力段のそれぞれの $m \times m$ スイッチと、1つの特定の $(N/m^2) \times (N/m^2)$ ブロックを介して接続されることができる。この性質のため、この $N \times N$ 構成を図15に示すように $p \geq 2m-1$ 個組み合わせることによって、ノンブロッキング $N \times N$ スイッチが得られる。最終的な構成は、 $p$ 個の中央レイヤ1301を、 $1 \times p$ および $p \times 1$ 二分木の入力段1302および出力段1303と組み合わせたものからなる。われわれは、この構成を導出する際に、図1の各構成ブロックがクロスバ構成を用いて実現されることを仮定した。しかし、この条件は、図14および図15では必ずしも満たされる必要はない。具体的には、それぞれの $(N/m^2) \times (N/m^2)$ ブロックは、必ずしもクロスバ構成である必要はない。さらに、それぞれの $m \times m$ スイッチは、(図5および図6に示したように)単一のリンクで2個の木どうしをつないだ2個の木の組合せを使用することによって、実現される必要はない。具体的には、リンク数を増やすことによって、最小の深さが、 $2 \times 2$ 素子のベースライン構成を使用することにより得られる。さらに一般的には、上記の2つの設計の代わりに、それぞれの $m \times m$ 構成に中間設計を使用することが可能である。上記の $N \times N$ 構成の重要な共通の特徴は、損失(深さ)およびクロストークの低い値が、図12の古典的クロスバ構成と比べて、実質的に少ない素子数で実現されることである。

【0019】なお、図14のそれぞれの $m \times m$ ブロックが、 $2 \times 1$ 素子の $m \times 1$ 二分木が $1 \times 2$ 素子の $1 \times m$ 二分木に接続されたものからなり、それぞれの $(N/m^2) \times (N/m^2)$ スイッチが $1 \times 2$ 、 $2 \times 1$ 素子の二分木のクロスバ構成であるという特殊な場合、図15の全体構成は、各構成ブロックとして二分木のクロスバ構成を使用することによって図1から得られる構成とちょうど等価である。したがってこの場合、この構成は、すでに指摘したように、実質的に、全部で6レベルの二分木を有する。

【0020】ここまでは、図15における $2m-1$ 個のレイヤを仮定した。これは、図15の構成が広い意味でノンブロッキングであるために必要な最小のレイヤ数であることを示すことができるからである。しかし、一般に冗長性のために数 $p$ を大きくして信頼性を高めるのが好ましいことがある。すでに指摘したように、この構成がノンブロッキングであるためには、図15のそれぞれの $(N/m^2) \times (N/m^2)$ スイッチがノンブロッキングでなければならない。図8を仮定して導出された上記の構成の利点は、この構成が、 $p$ 個の同一のレイヤを

含むモジュール的構成であることである。

【0021】このセクションの最後にあたり、1つの例を挙げる。上記の $N \times N$ 構成において、われわれは、それぞれの $m \times m$ スイッチで $2 \times 2$ 素子を使用することによって深さを最小にした。しかし、この技術は、図2および図3からわかるように、引き続く段の間のリンク数を増大させる（ $m=2$ の場合、2倍にする）。以下の例では、 $N$ が大きいと仮定し、段間のファイバコネクション数を最小にしたいものとする。そのため、ここでは上記の技術を使用しない。また、中央ブロックの数を $p=2m-1$ から $p=2m$ に増大させて、2個のポート間の各コネクションについて少なくとも2個の代替パスが常に利用可能であることを保証し、冗長性を増大させる。すると、 $N=128$ および $m=8$ の場合、この構成では、32個の $8 \times 16$ 入力スイッチに、16個の $16 \times 16$ 中央スイッチが続く。素子の総数は、前に必要とされたのは13664であるのに対して、この場合は15104である。中央段の両側の $16 \times 16$ ファイバコネクタの総数は16である。全深さは22であり、これは、列あたりの損失が0.2 dBより小さいと仮定すると、損失が5 dBより小さいことに対応する。追加損失が複数のコネクションによって引き起こされる。各スイッチは1個のコネクションを必要とする。入力および出力ファイバコネクションを含めることによって、全部で7個のコネクションを得る。この場合、コネクションあたりの損失が0.5 dBより小さいと仮定すると、全損失は8.5 dBより小さい。

【0022】次に説明する簡単なアルゴリズムを使用することによって、クロストーク成分（最悪の場合に1つの特定の出力ポートについて、2次）の総数は、クロスバ構成によって生じる1ではなく3となる。上記の例では、深さは、 $2 \log(N)$ ではなく $2 \log(N) + \log(m) + 1$ であり、幅は、 $N^2$ ではなく $((2m-1)/m^2)N^2$ である。深さは、図1のDで示したように、前から後ろまで、すなわち、入口から出口までのスイッチング素子の列の数である。幅は、中央段について上から下までのスイッチング素子の数であり、図2のWで示されている。

【0023】すでに指摘したように、最小の導波路交差数で $m \times (2m-1)$ スイッチを構成するのが好ましいことがある。この目的のためには、図16の構成を使用すると都合がよい。この構成を再帰的に使用することによって、 $m \times (2m-1)$ 構成は、対称ブロックと非対称 $2 \times 3$ ブロックの組合せとして実現することができる。それぞれの場合に、図7の $2 \times 2$ 構成ブロック、図11の $2 \times 3$ 構成ブロック、および、図9の $4 \times 4$ 構成ブロックの組合せを使用することによって、導波路交差数は最小になる。

【0024】〔クロストーク〕図12に、例示的な従来技術の $8 \times 8$ クロスバ構成を示す。ただし、入力11お

よび出力03のみが示されているが、他の入力および出力も同様に構成される。一般化された $N \times N$ クロスバ構成は、正方配列のマトリクス1001として、 $N$ 行 $N$ 列を有する。ここで、図12のクロスバ構成におけるクロストークを最小にする。この構成は完全拡張型であるため、それぞれのクロストークパスは、透過係数がほぼ0である少なくとも2個のブロッキング素子を有する。各クロストーク成分の「次数」はブロッキング素子の数によって決定されるため、結果として、この次数は少なくとも2である。具体的には、 $N=2$ の場合、図12の構成は、図7に示したものに帰着する。この構成は、それぞれの出力ポートごとに1個のクロストーク成分しかないことによって特徴づけられる。同じ結果が、以下に示す簡単なアルゴリズムを使用することによって、図9の $N=4$ の場合に得られる。さらに一般的に、 $N$ が大きい場合、1つの特定のポートが次数2のクロストーク成分を受け取る確率は漸近的に0になることが示される。上記の構成は深さが最小であることも特徴としているため、上記の性質により、これは多くのアプリケーションにとって最適な構成である。

【0025】 $N \times N$ クロスバ構成（図12のタイプの）は、中央面で $N^2$ 個の点の正方配列を定める全部で $N^2$ 個のパスによって特徴づけられる。各行は特定の入力ポートに対応し、各列は特定の出力ポートに対応する。すべての入力信号がアクティブである場合、この構成は、 $N$ 個のアクティブパスおよび $N^2 - N$ 個のアイドル（空き）パスによって厳密に特徴づけられる。各アイドルパスがクロストーク成分に寄与する。そのパスは、アクティブパスの特定の素子から、異なるアクティブパスの特定の素子に進む。伝送はアイドルパスの両端でブロッキングされるため、クロストークの次数は少なくとも2である。次数は、ここでは、アイドルパスに対するゼロ伝送によって近似的に特徴づけられるブロッキング素子の総数として定義される。なお、各出力ポートはちょうど $N-1$ 個のクロストーク成分を受け取り、この各成分は、特定の入力信号および特定のアイドルパスによって生成される。しかし、一部のアイドルパスは3個以上の素子を含むため、これらのうちの一部は次数が2より高いと期待される。実際、以下で示すように、簡単なアルゴリズムを使用することによって、上記の $N-1$ 個の成分のうちの高々1個が次数2となる。

【0026】なお、2個だけの素子を有するすべてのアイドルパスは必然的に次数2である。これらを $\alpha$ で表す。ここでは、それ以外のアイドルパスのみに関心があり、それらを $\gamma$ で表す。われわれの目標は、これらのうちのできるだけ多くを、少なくとも1つの中間素子でブロッキングすることによって、2より高い次数にすることである。なお、中央面に隣接する素子は、 $2 \times 2$ ブロックをなして4個ずつのグループとして配列される。また、この $2 \times 2$ ブロックに隣接する素子を含めることに



よって、図9の4×4ブロックが得られる。アルゴリズムは、これらのブロックのみに関わる。

【0027】まず、2×2スイッチからなる中央段を考える。各スイッチは、図7および図12のように4個の素子および4個のバスからなる。2個の素子が中央面の一方の側にあり、他の2個の素子が他方の側にある。したがって、4個のバスは、この平面上に4点の配列を形成する。ここで、両方の入力ともアイドルである場合、それぞれのバスを、4個の素子のうちの1つでブロッキングする。これは、ここでの目的のためには等価な2つの方法で行うことができる。他の場合、少なくとも一方の入力バスI1、I2がアクティブである場合には、スイッチは、その主要な状態（バーまたはクロス）のうちの一方に設定される。その場合、2個のバスがブロッキングされ、他の2個のバスはブロッキングされない。この場合において、両方のバスがアクティブである場合、結果は、次数2のアイドルバスが2個となり、これは $\alpha$ で表される。他方、一方の入力のみがアクティブである場合、3個のアイドルバスが得られる。これらのうちの2個がブロッキングされ、これらは次数が2より高い一方、残りの1個のバスはアイドルであるがブロッキングされず、これは $\gamma$ で表される。ここで、 $\alpha$ または $\gamma$ のいずれかであるバスの総数は、アクティブバスの数Nにちょうど等しい。したがって、次数2のバスの総数はNを超えない。また、上記のバス $\alpha$ 、 $\gamma$ は、中央面における各行がそれらのうちの1つのみを含み、各列についても同様のことが成り立つという重要な性質を有することを確かめることができる。したがって、N個のバスは互いに素(disjoint)である。各入力信号はそれらのうちの1つに寄与し、各出力ポートはそれらのうちの1つを受け取る。

【0028】次に、バス $\gamma$ を考える。その次数はまだ求められていない。このバスは、1個の特定の4×4ブロックを通り、その4×4ブロックの入力および出力素子を含む。このバスの次数が2より大きいためには、少なくとも5個の素子を含まなければならない。この条件が満たされる場合、上記の素子のうちの1つは中間アイドル素子であり、バスをこの素子でブロッキングすることによって、次数は少なくとも3となる。バス $\gamma$ はすべて互いに素であるため、この手続きは、それらのすべてに衝突なしに適用可能であり、最終結果として、4個より多くの素子を有するすべてのバス $\gamma$ の次数は2より大きくなる。なお、N=4の場合、すべてのアイドルバスは高々4個の素子しか含まない。この場合、 $\gamma$ バスのいずれもブロッキングされることは不可能であり、次数2のバスの数はちょうどNとなる。他方、Nが大きい場合、1つの特定の出力ポートが次数2のクロストーク成分を受け取る確率は次式で与えられることがわかる。

【数3】

$$\frac{1}{N-1} + \left( \frac{2}{N-2} \right)^2$$

ここで、第1項は、問題となっている出力信号によって使用される特定の2×2ブロックを別の信号が通る確率1/(N-1)である。

【0029】重要な結論は、古典的クロスバ構成の場合、クロストークはNとは近似的に無関係であることである。これはすべて、1次までの近似では、中央ブロックによって生成されるため、これらのブロックに必要とされるのは大きい消光比のみである。

【0030】[付録]

#### 文献

- [1] Alfiness, R. C., "Guided-wave Devices for Optical Communications", IEEE J. Quantum Electron., Vol. QE-17, pp.946-957, 1981.
- [2] Padmanabhan, K., and Netravali, A., "Dilated Networks for Photonic Switching", IEEE Transactions on Communications, Vol.COM-35, No.12, pp.1357-1365, December 1987.
- [3] Ramaswami, R. and Sivarajan, K. N., "Optical Networks: A Practical Perspective", San Francisco, CA; Morgan Kaufmann, 1998.
- [4] Benes, V. E. and Kurshan, R. P., "Wide-Sense Nonblocking Network Made of Square Switches", Electronics Letters, Vol.17, No.19, p.697, September 1981.
- [5] Spanke, R. A., "Architectures for Guided-wave Optical Space Switching Systems", IEEE Communications Magazine, 25(5), pp.42-48, May 1987.
- [6] Nishi, T., Yamamoto, T., and Kuroyanagi, S., "A Polarization-Controlled Free-Space Photonic Switch Based on a PI-Loss Switch", IEEE Photon. Technol. Lett., Vol.6, No.9, pp.1104-1106, September 1993.
- [7] Kondo, M., Takado, N., Komatsu, K., and Ohta, Y., "32 Switch Elements Integrated Low Crosstalk Linb03 4x4 Optical Matrix Switch", IOOC-ECOC85, Venice, pp.361-364, 1985.
- [8] Goh, T., Himeno, A., Okuno, M., Takahashi, H., and Hattori, K., "High-Extinction Ratio and Low Loss Silica-Based 8x8 Thermo-optic Matrix Switch", IEEE Photon. Technol. Lett., Vol.10, No.3, pp.358-360, March 1998.
- [9] Hamamoto, H., Anan, T., Komatsu, K., Sugimoto, M., and Mito, I., "First 8x8 Semiconductor Optical Matrix Switches Using GaAs/AlGaAs Electro-optic Guided-wave Directional Couplers", Electron. Lett., vol.28, pp.441-443, 1992.

[10] Granestrand, P., Lagerstrom, B., Svensson, P., Olofsson, H., Falk, J. E., and Stolz, B., "Pigtailed Tree-structured 8x8 LiNbO<sub>3</sub> Switch Matrix with 112 Digital Optical Switches", IEEE Photon. Technol. Lett., Vol.6, pp.71-73, 1994.

[11] Murphy, E. J., Murphy, T. O., Ambrose, A. F., Irvin, R. W., Lee, B.H., Peng, P., Richards, G. W., and Yorinks, A., "16x16 Strictly Nonblocking Guided-wave Optical Switching Systems", J. Lightwave Technol., Vol.10, pp.810-812, 1998.

【0031】特許請求の範囲の発明の要件の後に括弧で記載した番号がある場合は、本発明の一実施例の対応関係を示すものであって、本発明の範囲を限定するものと解釈すべきではない。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 Clos構成を用いて実現される  $N \times N$  クロスコネクタスイッチのブロック図である。中央段の構成ブロックは、 $n = N/m$  とした  $n \times n$  スイッチであり、他の2個の段の構成ブロックは、 $m \times (2m-1)$  スイッチおよび  $(2m-1) \times m$  スイッチである。

【図2】 2個の段の結合部において、第1段のそれぞれの  $2 \times 1$  素子が第2段の  $1 \times 2$  素子に接続されることを示す図である。

【図3】 図2の2個の素子は、2個の段の間のリンク数を2倍にするという犠牲を払って、単一の  $2 \times 2$  素子によって置き換えることができることを示す図である。

【図4】 1個のリンクによって接続された2個のクロスバ構成の3次元表示図である。

【図5】 例として  $m=2, 3$ 、および4の場合に、二分木の間の相互接続をどのようにして簡単な  $m \times m$  素子で置き換えることができるかを示す図である。

【図6】  $m=8, N/m=16$  の場合に、第2レベルと第3レベルの2個の木を互いに結合することによって得られる構成を示す図である。この構成の第1の部分、 $2 \times 2$  素子の等価ベースライン構成によって置き換えることが可能な、2個の木の対称  $m \times m$  構成である。

【図7】 従来技術の  $2 \times 2$  クロスバ構成を示す図である。

【図8】 入力および出力の  $1 \times 2$  素子および  $2 \times 1$  素子と結合した、4個の中央ブロックからなる  $N \times M$  クロスバ構成の例示的な一般化表示図である。

【図9】  $N=4$  の場合の例示的な  $N \times N$  クロスバ構成を示す図である。

【図10】 図9の  $4 \times 4$  クロスバ構成の3次元表示図である。

【図11】 導波路交差が1つしかない、ウェハ上の集積形態での実現に適した、最適化された  $2 \times 3$  クロスバ構成を示す図である。

【図12】 古典的クロスバ構成のブロック図である。

【図13】 二分木の入力段と出力段の間に接続された、

$(N/m^2) \times (N/m^2)$  ブロックの中央段からなる、ノンブロッキング  $(N/m) \times (N/m)$  構成を示す図である。

【図14】  $m \times m$  スイッチの入力段と出力段の間に接続された、 $(N/m^2) \times (N/m^2)$  ブロックの中央段からなる、ブロッキング  $N \times N$  構成を示す図である。

【図15】 それぞれのレイヤが図14のブロッキング構成を用いてそれぞれ実現される  $p$  個のレイヤを用いて実現される、ノンブロッキング  $N \times N$  構成を示す図である。

【図16】 より小さい構成ブロックを用いた  $m \times (2m-1)$  ユニットのクロスバ構成を示す図である。

【図17】  $m=4$  の場合に、図16の構成を再帰的に使用することによって、 $m \times (2m-1)$  構成が対称  $m \times m$  ブロックと非対称  $(m/2) \times (m-1)$  ブロックの組合せとして実現されることを例示する図である。この場合、図11の構成を用いて、導波路交差は最小となる。

【図18】  $m=8$  の場合に、図16の構成を再帰的に使用することによって、 $m \times (2m-1)$  構成が対称  $m \times m$  ブロックと非対称  $(m/2) \times (m-1)$  ブロックの組合せとして実現されることを例示する図である。この場合、図11の構成を用いて、導波路交差は最小となる。

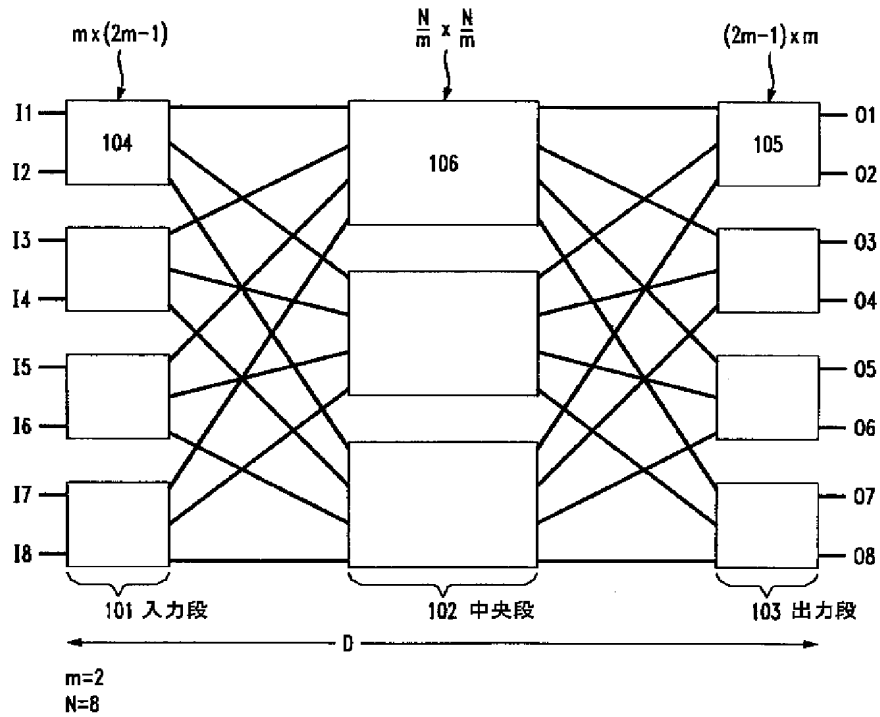
#### 【符号の説明】

- 101 入力(第1)段
- 102 中央(第2)段
- 103 出力(第3)段
- 104 入力スイッチ
- 105 出力スイッチ
- 106 中央ブロック
- 201 第1段のブロック
- 202, 204 第1レベル
- 203, 205 第2レベル
- 206 結合部
- 207  $2 \times 2$  素子
- 210, 211 コネクション
- 301 第1段
- 302 第2段
- 304, 306, 307 リンク
- 305 結合部
- 308  $m \times 1$  出力木
- 309  $1 \times n$  入力木
- 321 バー状態
- 322 クロス状態
- 601 中央ユニット
- 602 入力二分木
- 603 出力二分木
- 611 導波路交差
- 1101 入力段

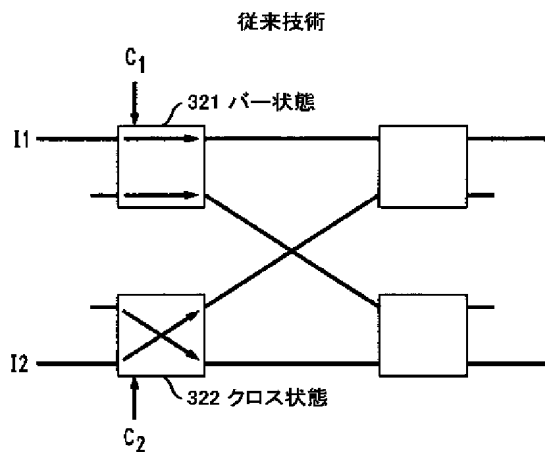
1102 出力段  
1103 中央段  
1104  $m \times 1$  本  
1105  $1 \times m$  本  
1201 入力  
1202 第1段

1203 第2段  
1204 第3段  
1205 出力  
1301 中央レイヤ  
1302 入力段  
1303 出力段

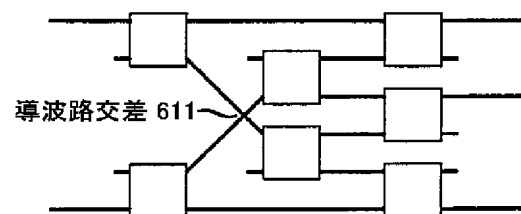
【図1】



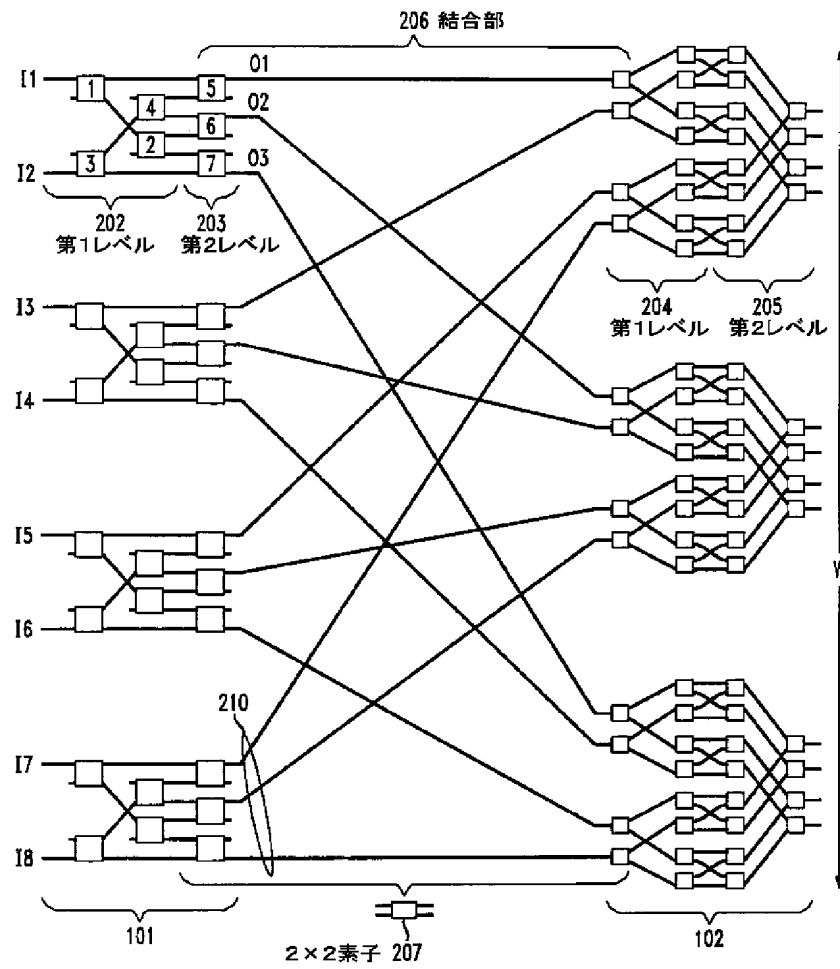
【図7】



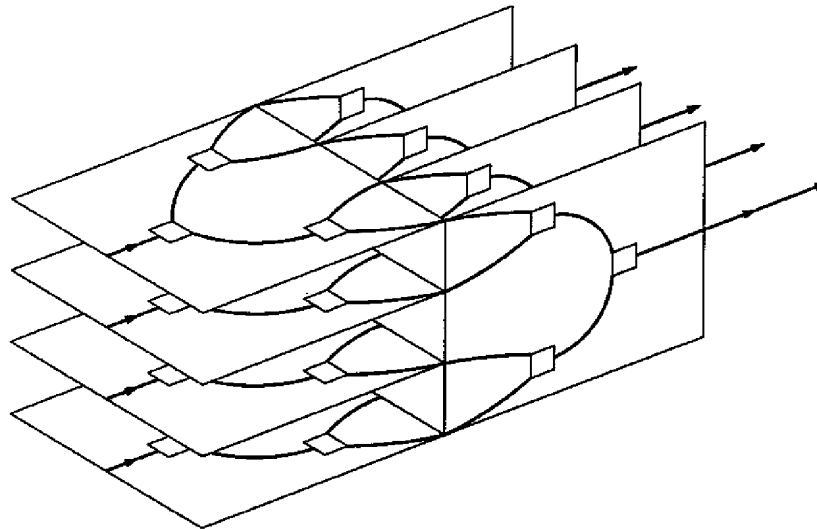
【図11】



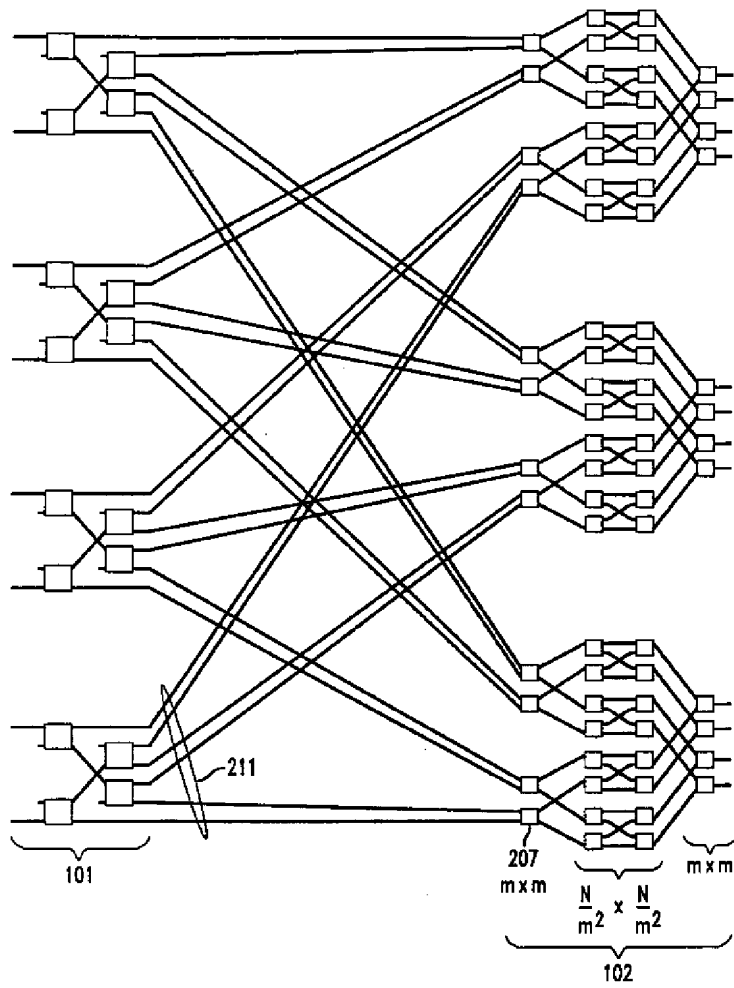
【図2】



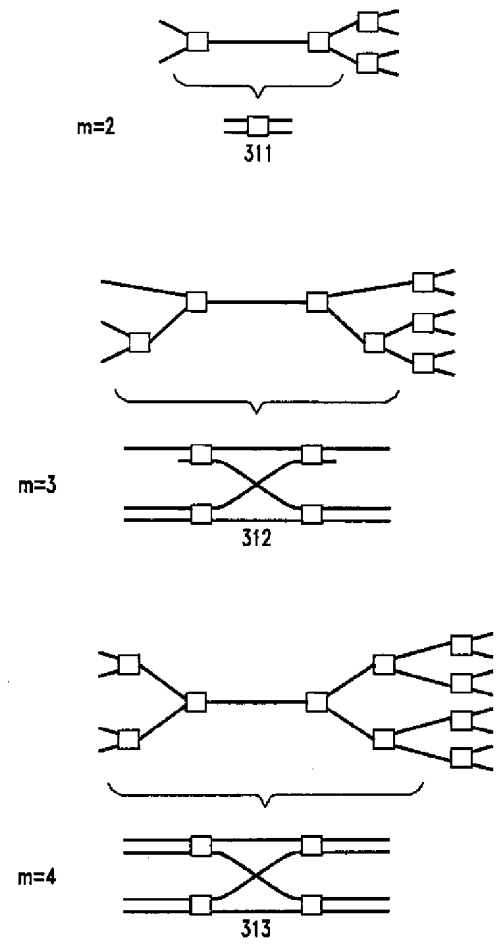
【図10】



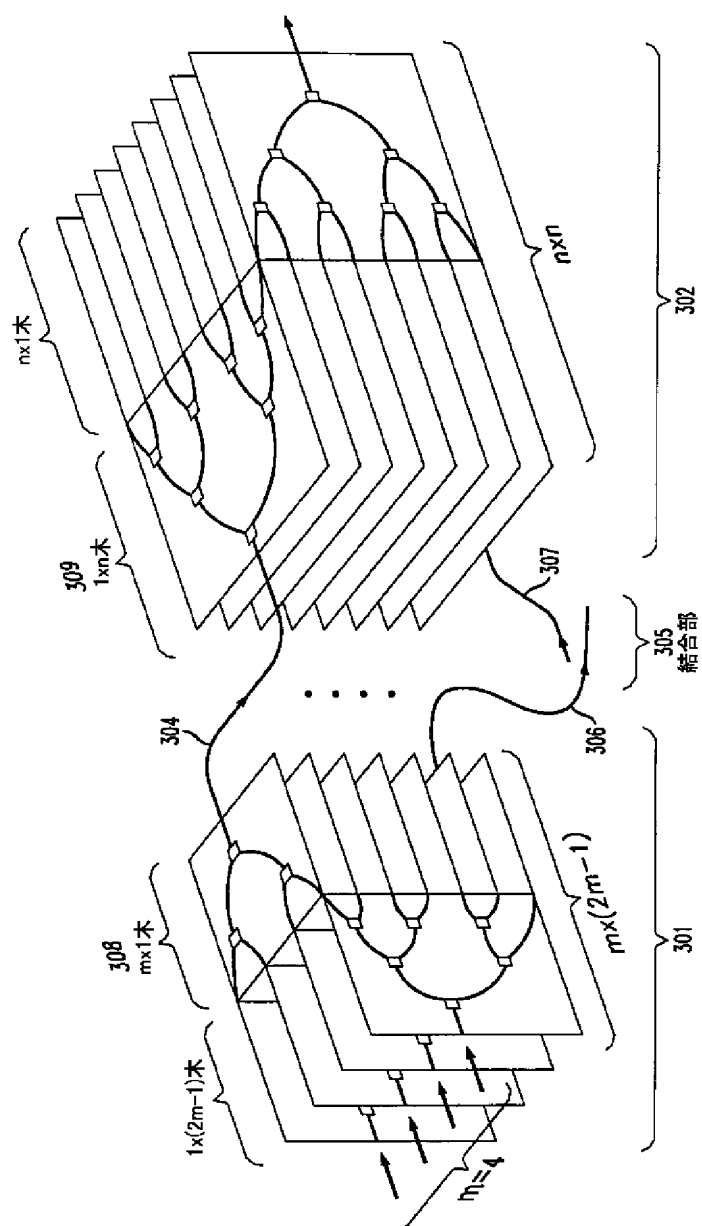
【図3】



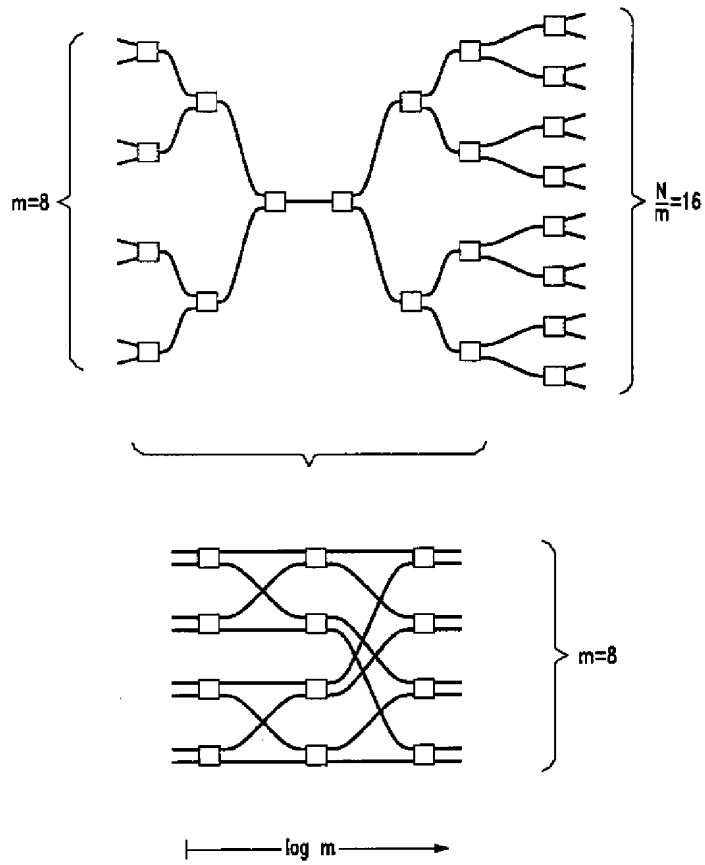
【図5】



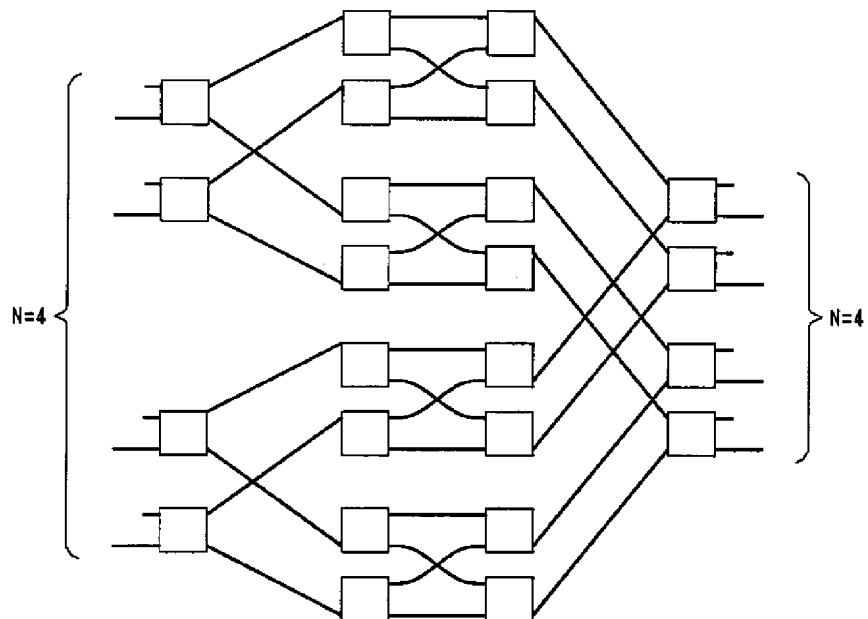
【例4】



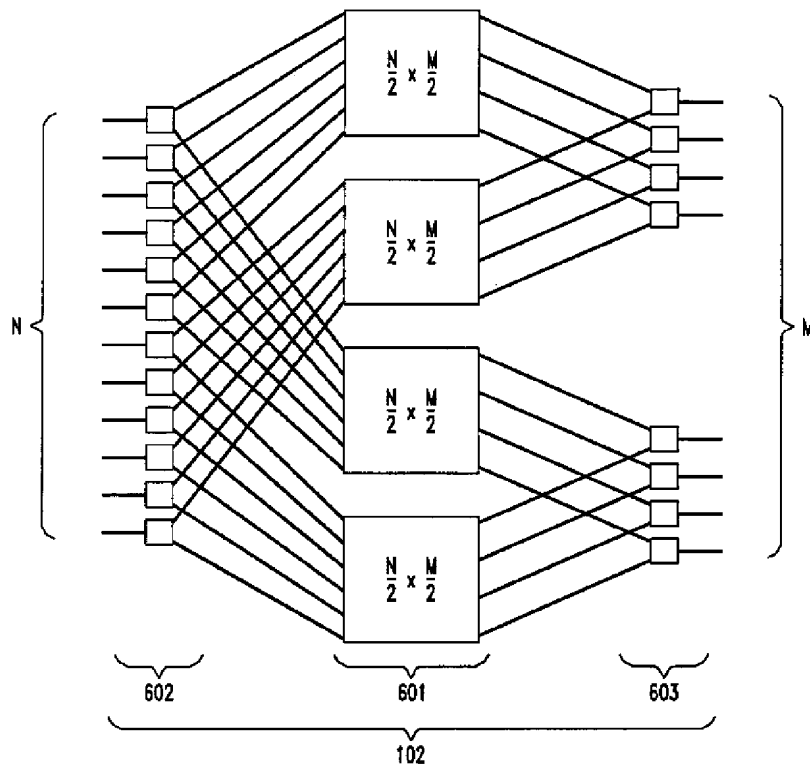
【図 6】



【図 9】

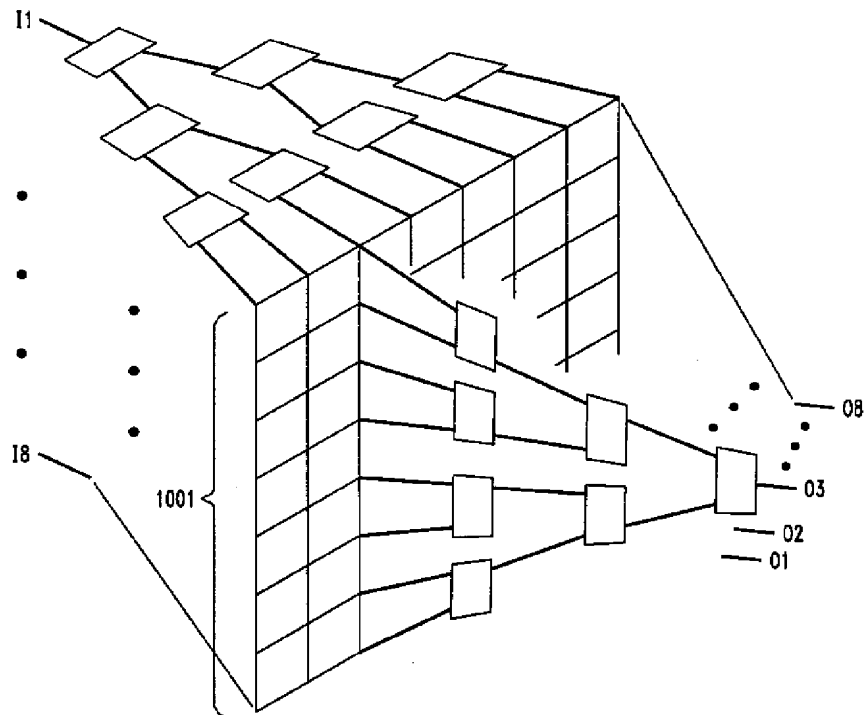


【圖8】



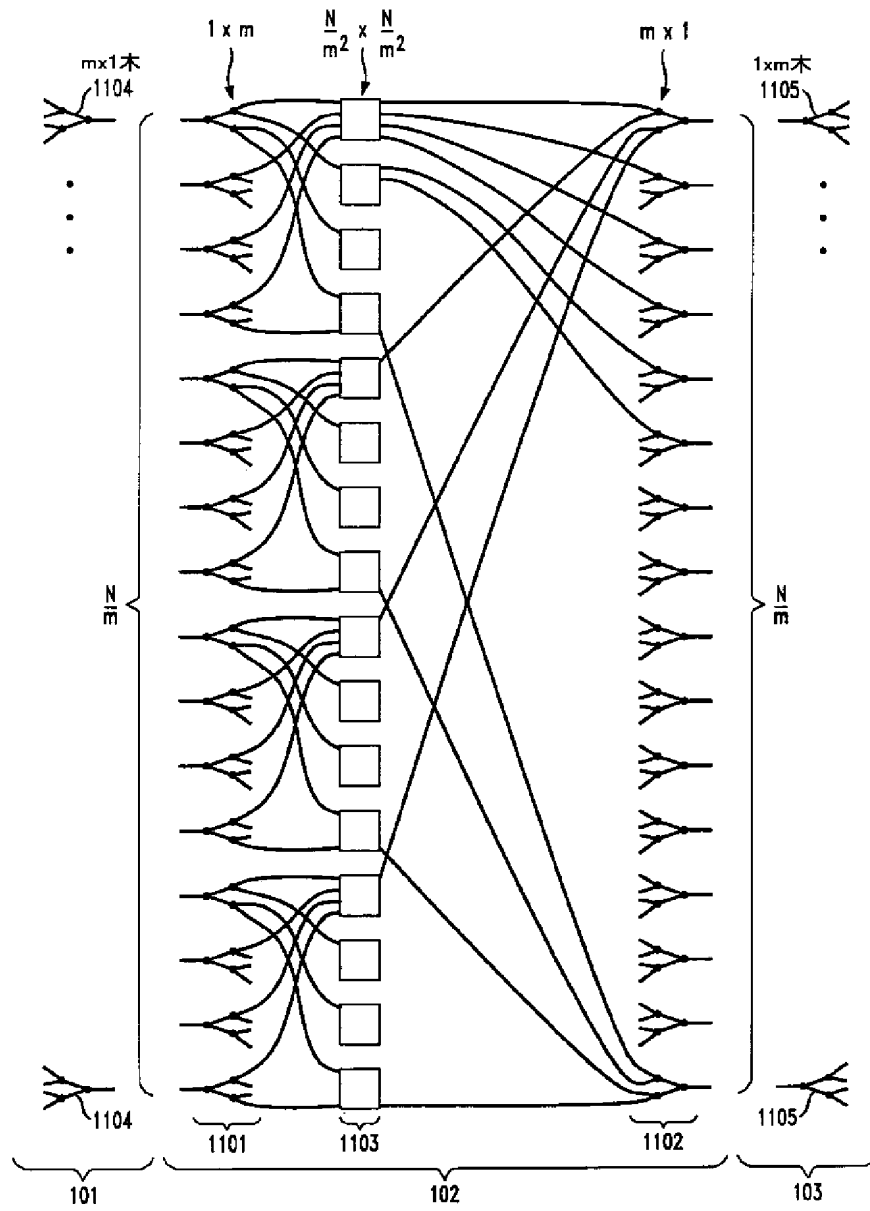
【圖12】

従来技術

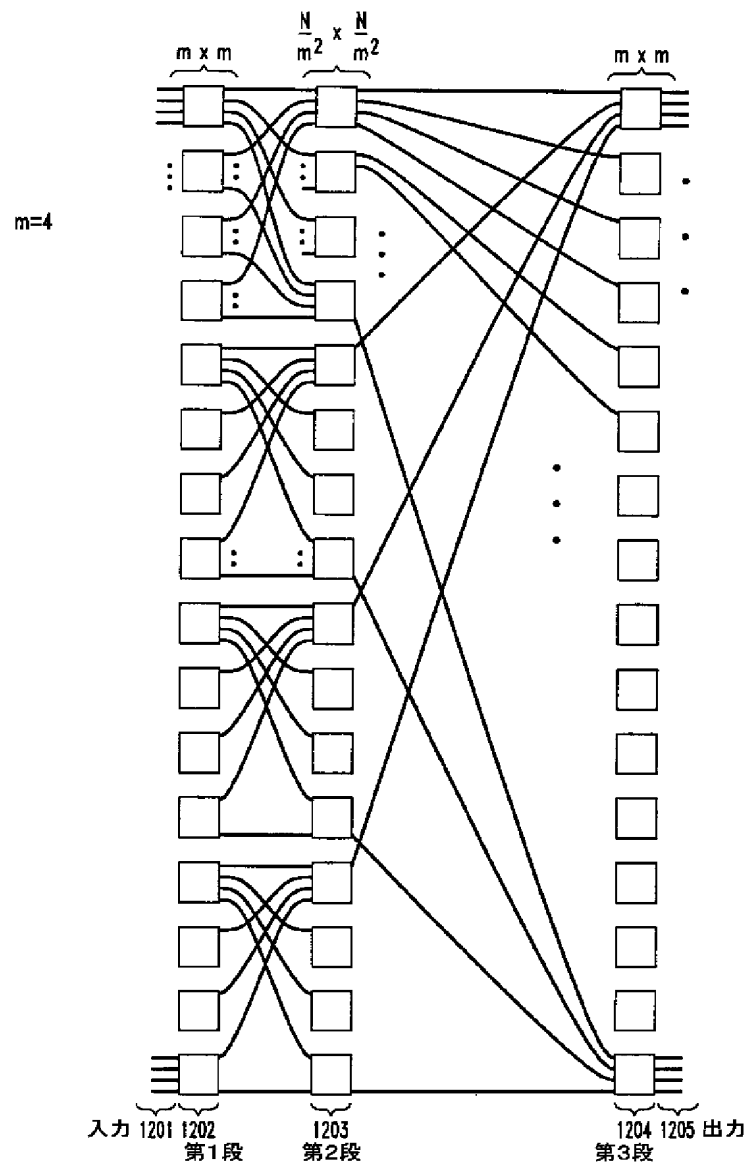




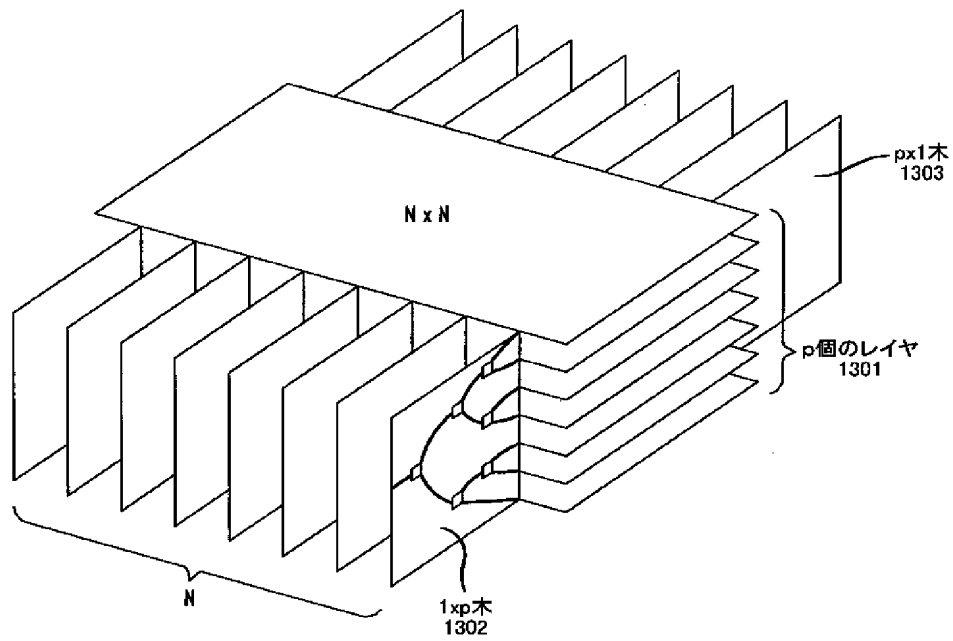
【図13】



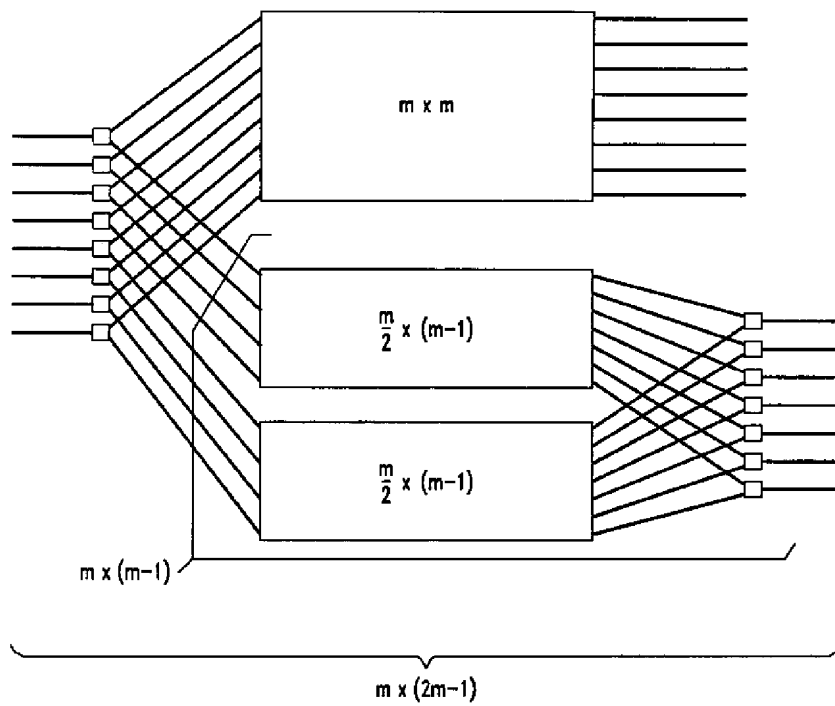
【図14】



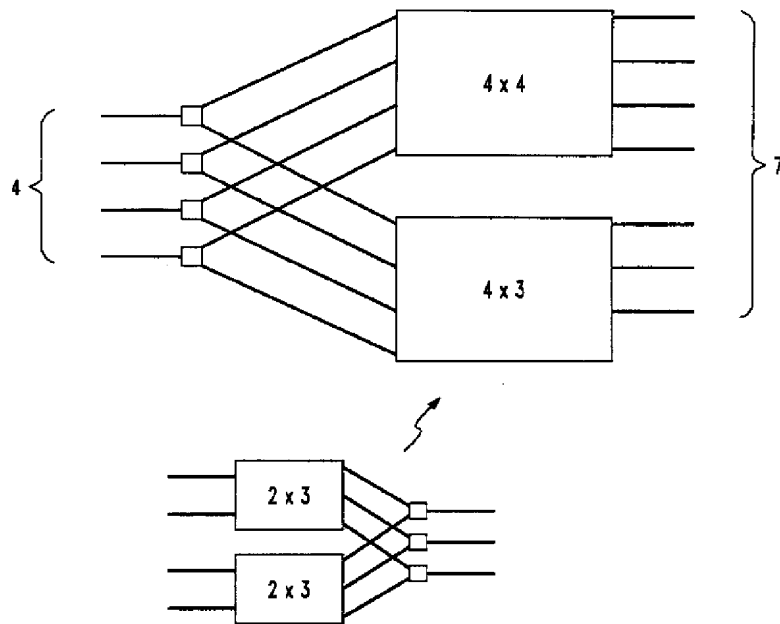
【図15】



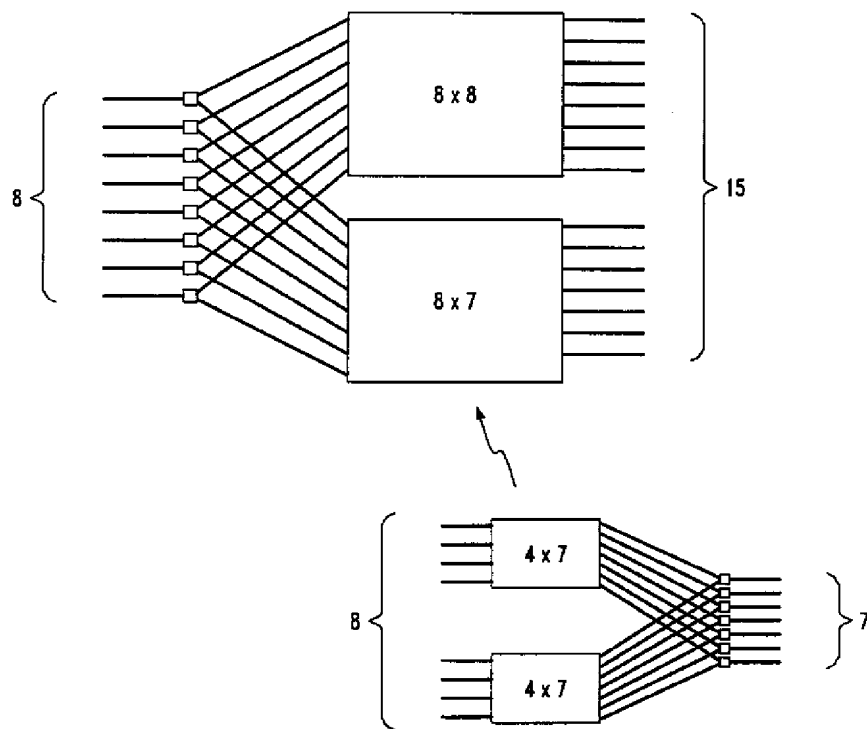
【図16】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259

600 Mountain Avenue,  
Murray Hill, New Je  
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 コラド ピエトロ ドラゴーン

アメリカ合衆国、07739 ニュージャージ  
ー州、リトル シルバー、ウィンザー ド  
ライブ 43

Fターム(参考) 5K002 BA04 BA06 CA21 DA13 FA01  
5K030 GA05 KX09 KX17 KX20  
5K069 AA16 BA01 DB07 DB31 EA24  
EA29